

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-047881

(43)Date of publication of application : 20.02.1996

(51)Int.Cl.

B25J 13/08
B25J 9/10

(21)Application number : 06-184777

(71)Applicant : ISHIKAWAJIMA HARIMA HEAVY IND CO LTD

(22)Date of filing : 05.08.1994

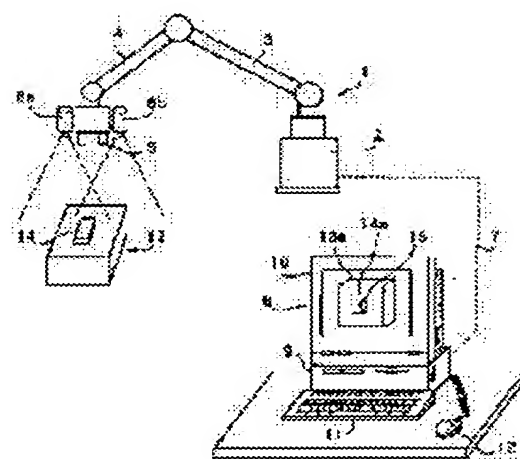
(72)Inventor :
ANDO HIDEYUKI
HONDA FUMIAKI
KOIDE SEIJI

(54) METHOD OF REMOTELY CONTROLLING ROBOT

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a method of remotely controlling a robot, which can effectively remote-control the robot.

CONSTITUTION: Cameras 8a, 8b are attached to the left and right parts of a grip 5 of a robot 1, for picking up images of a surface to be worked, and thus picked-up images are delivered to a computer 6, and an arbitrary shape is determined as a target 14a from one of the images. Further, a loop-like edge of the target 14a which is continuous is extracted, and the shape thereof is recognized, and the trigonometrical survey of the grip 5 of the positions and the postures of the robot 1 and the target 15 is made from an epipolar line at an arbitrary point on the loop-like shape, and coordinates of another point with respect to the arbitrary point, and the grip 5 of the robot 1 is controlled in accordance with values obtained by the trigonometric survey.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 8 - 4 7 8 8 1

(43) 公開日 平成8年(1996)2月20日

(51) Int. Cl.⁶

B 2 5 J 13/08
9/10

識別記号

A
Z

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 1

OL

(全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平6-184777

(22) 出願日 平成6年(1994)8月5日

(71) 出願人 000000099

石川島播磨重工業株式会社
東京都千代田区大手町2丁目2番1号

(72) 発明者 安藤 秀之

東京都江東区豊洲三丁目1番15号 石川島
播磨重工業株式会社東二テクニカルセンタ
ー内

(72) 発明者 本多 史明

東京都江東区豊洲三丁目1番15号 石川島
播磨重工業株式会社東二テクニカルセンタ
ー内

(74) 代理人 弁理士 絹谷 信雄

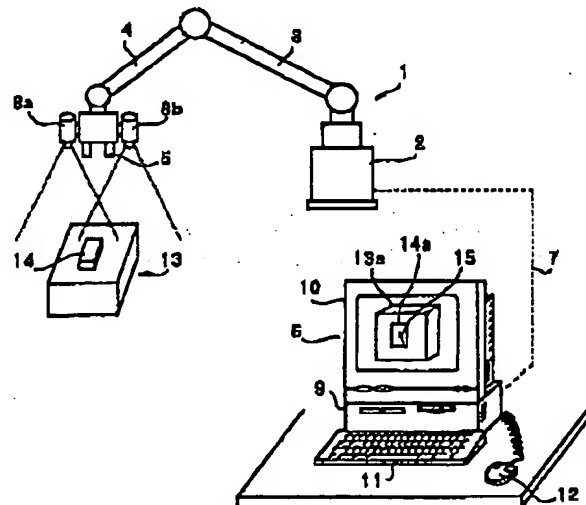
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ロボットの遠隔操作方法

(57) 【要約】

【目的】 遠隔操作を行うロボットに有効な操作を行わせることが可能なロボットの遠隔操作方法を提供する。

【構成】 ロボット1の手先5の左右にカメラ8a, 8bを取り付け、その左右のカメラ8a, 8bで作業を行う面を撮影すると共にその画像20をコンピュータ6に取り込み、一方の画像20から任意の形状をターゲット14aとして決定し、そのターゲット14aのループ状に連なったエッジEを抽出して形状を認識し、次に他方のカメラ8で撮影された画像中対応するターゲットのループ形状を認識し、一方のループ形状の任意の点のエピポーラ線E p iとその任意の点に対応する他方の点の座標からロボット1の手先5とターゲット14との位置・姿勢を三角測量し、その三角測量値に基づいてロボット1の手先5を制御することを特徴としている。



(2)

特開平8-47881

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 ロボットの手先の左右にカメラを取り付け、その左右のカメラで作業を行う面を撮影すると共にその画像をコンピュータに取り込み、一方の画像から任意の形状をターゲットとして決定し、そのターゲットのループ状に連なったエッジを抽出して形状を認識し、次に他方のカメラで撮影された画像中対応するターゲットのループ形状を認識し、一方のループ形状の任意の点のエピポーラ線とその任意の点に対応する他方の点の座標からロボットの手先とターゲットとの位置・姿勢を三角測量し、その三角測量値に基づいてロボットの手先を制御することを特徴とするロボットの遠隔操作方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、ロボットの手先と作業を行う面のターゲットとの位置・姿勢を三角測量して、手先を、ターゲットに対して正確に位置・姿勢合わせして動作できるロボットの遠隔操作方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来、マニピュレータやロボットなど、6自由度で動くロボットは、例えば複数のアーム同窓が関節で連結され、そのアームの関節を旋回・俯仰させることで、アームの先端の手先を、6自由度(x, y, z, φ, θ, ψ)方向に自在に移動して各種操作を行うことができるようになっている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 このロボットの遠隔操作は、ジョイスティックによるマスタースレーブ方式が主流である。この方法は、手先近く等にカメラを取り付け、その画像を見ながら、操作者がジョイスティックを操作して、手先を所望の位置に移動させて行うものであるが、コスト的に高くなりやすく、操作者の動作に追従してそれ程高遠な動きはできないと共にロボットの手先の姿勢制御や位置制御は、操作者にかなりの負担をかける問題がある。

【0004】 また、ロボットに予め操作のための移動手順をティーチングによりコンピュータに記憶させておき、ティーチングさせた通りにロボットを動かす方法もあるが、操作対象物が違えば、その都度ティーチングを行わなければならない問題がある。

【0005】 最近、この種のロボットの作業タスクは、例えば宇宙ステーションでのORU交換や原子炉などの各種検査など、作業者が、直接その作業環境内で操作できない条件で使用されることを対象とするものが要求されており、従来の制御方法では、良好な作業タスクが得られることは期待できない。

【0006】 そこで、本発明の目的は、上記課題を解決し、遠隔操作を行うロボットに有効な操作を行わせることが可能なロボットの遠隔操作方法を提供することにあ

2

る。

【0007】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成するために本発明は、ロボットの手先の左右にカメラを取り付け、その左右のカメラで作業を行う面を撮影すると共にその画像をコンピュータに取り込み、一方の画像から任意の形状をターゲットとして決定し、そのターゲットのループ状に連なったエッジを抽出して形状を認識し、次に他方のカメラで撮影された画像中対応するターゲットのループ形状を認識し、一方のループ形状の任意の点のエピポーラ線とその任意の点に対応する他方の点の座標からロボットの手先とターゲットとの位置・姿勢を三角測量し、その三角測量値に基づいてロボットの手先を制御するものである。

【0008】

【作用】 上記構成によれば、先ず、両カメラの中心と、その画像の中のターゲットの任意の点と、実際のターゲットの点とは、エピポーラ面と称される同一平面上にあり、このエピポーラ面と画像面との交線がエピポーラ線であり、エピポーラ面上のターゲットの点はエピポーラ線上にあり実際のターゲットの点とは三角測量で求めることができ、左右の各点を測量することでステレオ対応付けが行えるため、手先とターゲットとの位置・姿勢を求めることが可能となり、これを元にロボットを簡単に制御することが可能となる。

【0009】

【実施例】 以下、本発明の一実施例を添付図面に基いて詳述する。

【0010】 先ず、図1により本発明の概略を説明する。

【0011】 図1において、1はマニピュレータ、ハンドリング装置などのロボットで、例えば、図示のように機台2に旋回自在にかつ俯仰自在に第1アーム3が設けられ、その第1アーム3に、第2アーム4が屈曲自在に設けられ、さらにその第2アーム4にハンドリングのための手先5が回転自在にかつ屈曲自在に設けられて構成され、その手先5が3次元(x, y, z)方向に移動し、かつその各軸回りに(φ, θ, ψ)方向に回転できて6自由度(x, y, z, φ, θ, ψ)方向に移動できるようになっている。

【0012】 このロボット1の各アーム3, 4及び手先5の制御の詳細は省略するが、各アーム3, 4及び手先5に角度検出センサーが設けられており、各アーム3, 4及び手先5の座標が認識できるようになっており、またコンピュータ6からの指令は、通信信号7でロボット1を駆動する駆動装置(図示せず)を制御して指令した位置に移動できるようにされると共に手先5で任意の物品や装置を把持して移動できるようになっている。

【0013】 このロボット1の手先5の左右には、CCDカメラなどのカメラ8a, 8bが取り付けられ、その

10

20

30

40

50

(3)

特開平8-47881

3

手先5の前方を両カメラ8a, 8bで撮像できるようになっている。

【0014】またカメラ8a, 8bの画像は、通信信号7にてコンピュータ6に取り込めるようになっている。

【0015】コンピュータ6は、本体9とディスプレイ10とキーボード11とからなり、また本体9にマウス12が接続されている。

【0016】いまロボット1の手先5が、物品13をハンドリングするとし、またその手先5で物品13の突起部14を挟んで把持するとする。

【0017】本発明においては、カメラ8a, 8bが物品13を撮影し、その画像がコンピュータ6に取り込まれ、そのカメラ8a, 8bの画像のいずれかがディスプレイ10に表示され、マウス12のポインタ15をディスプレイ10に表示された物品13aの突起部14aの位置に合わせ、その位置で突起部14aをターゲットとしクリックすることで、手先5に対する物品13の突起部14の位置を三角測量できるようになっている。

【0018】以下この処理フローを図2により説明する。

【0019】制御が開始されると、先ず左右の画像を取り込み、次にオペレータによる左画像中のターゲット指定(右画像でもよい)を行い、次に指定したターゲット面を構成するループ状に連なったエッジの抽出を行い、同様にステレオ対応づけによる右画像中のターゲット面抽出を行う。

【0020】この左右のターゲット面を抽出することで、両ターゲット形状の相違は両カメラで立体視した時のズレであり、同時にこのズレは、三角法(三角測量原理)で実空間中の座標を決定できる位置・姿勢情報となる。

【0021】そこで、左画像のターゲット面上にある任意の点の右画像における対応点検出を行う。この点は3点以上の検出を行う。同様に、右画像のターゲット面の3点についても行き、各点のエピポーラ線上で探索して他方の点と実際のターゲット面との点とをステレオ対応付けを行って、ターゲットの各点の座標を決定する。

【0022】次にロボットの手先に対するターゲットの位置/姿勢を算出し、手先でそのターゲットを把持するなどの指令を行い、制御を終了する。

【0023】次にこの各フローについて説明する。

【0024】a. 左右画像の取り込み

CCDカメラなどで撮像された左右の画像の画素データをコンピュータに記憶し、このうち左画像をディスプレイに表示する。

【0025】b. オペレータによる左画像中のターゲットの指定

先ず、オペレータは、写し出された物品13aの突起部14aをターゲットとして選択する際、マウス12で画面上のポインタ15を移動し、そのポインタ15を、タ

4

ーゲットのエッジを指し示すのではなく、ターゲットの表面の略中央を指し、その位置をマウス12でクリックする。

【0026】マウスのポインタは、画像中の任意のポイント(ドット)をクリックでき、そのクリックした点の周囲から、指し示されたポイントを内部に持つループ状に連なったエッジを探索する。

【0027】(1) 1つのエッジの探索; 先ず、図3に示すように画像は、ターゲットTLのエッジELが写し出されており、そのターゲット面MLの略中央をマウス12のポインタでクリックすると、最初に指し示されたクリップポイントpを中心に、図示の矢印Aで示すように円を徐々に広げるようにエッジELを探索する。

【0028】(2) ループ状に連なったエッジの追跡: 図4に示すように、エッジELの内外には、ループを構成する以外のエッジE1, E6, E_xが含まれており、これらエッジと検出すべきループ状のエッジELとを区別する必要がある。

【0029】従って、最初に検出したエッジの端点から、図示の丸で囲んだ範囲内に別のエッジの端点を探索する。次に新たに検出したエッジのもう一方の端点から、さらにある範囲内にある別のエッジの端点を探索する。

【0030】このようにして図示のようにエッジE1では、点線の矢印P1のようにエッジの端点を探索すると、丸C1では、端点が検出できなくなるため、ループ状のエッジとは判断せず、次に別のエッジE2を探索する。この際、追跡を開始したエッジE2を図示の点線の矢印2のように探索し、順次丸C3~C6で、他の連なったエッジE2~E5を探索する。エッジE5では、丸C7では、ループと関係ない外エッジE6が連なっているが、丸C6で他のエッジを探索できないため、丸C7に戻って探索し、エッジE7を探索する。このエッジE6は2度選択されないように削除する。またこの丸C7の近傍にはエッジE_xがあるが、丸C7の範囲から外れるため、探索は行わない。以上のようにして順次、丸C8まで探索し、追跡を開始したエッジE2を検出したならば、追跡したエッジELがループ状に連なったターゲットの形状として検出できる。

【0031】なお、ループ状に連なったエッジを検出せずに、探索すべきエッジがなくなったとき、この処理は失敗したことになる。

【0032】(3) 指し示された点を内部に持つループの判定: 検出したループには、図5(a)に示すように、指し示されたポイントpを内部に持つものと、図5

(b)に示すように、そうでないものとがある。これを判定するため、ループを構成するそれぞれのエッジの端点と指定されたポイントpとによって作られるベクトルVを求め、次に隣り合ったベクトルV同士の間す角度θを算出し、この全ベクトルV間の角度θの総和が2π(τ

5

ad) のとき、指し示された点を内部に持つループと決定する。

【0033】c. ステレオ対応付け

図6(a)に示すように左画像より検出されたターゲットELを構成するループを、図6(b)に示す右画像よりステレオ対応付けを行って右画像のエッジERを抽出する。左画像において検出したループを構成するエッジEL以外のものは、予め全て削除し、余分なステレオ対応付けを行わないようにしておく。

【0034】ステレオ対応付けを行った後、左画像において検出したループを構成するエッジERにおいて未だ対応を付けられなかったエッジE7に対して、右画像よりすでに対応付けられたエッジE5の端点のある丸C7の範囲内にあるエッジE7を探索する。検出したエッジE7の向きと長さがある程度の条件を満たしていれば、これを対応付けする。

【0035】最後に、ステレオ対応付けされた左右のエッジEL, ERの端点における視差の偏差 σ を求める。このとき、図7(a), (b)に示すように、 3σ 以上の偏差 σ を持つエッジE7 E7の組みは対応ミスとして

削除する。

【0036】尚、このステレオ対応付けがうまく行かなかったとき、オペレータによるエッジの修正を行う。

【0037】d. ターゲットの位置/姿勢の検出
ターゲットの位置/姿勢の検出を行う際に、左右のカメラが、図9に示すように光軸が、それぞれ任意の方向にある場合を考慮する。これは後述するカメラのキャリブレーションの際に、カメラのロボットのツール座標から見た位置/姿勢を得るためである。但しステレオ画像を得るのに物理的に不可能な配置や、左右のカメラが入れ替わったり上下が逆さまになるような配置は考えず、だいたい光軸に対して平行に置かれているものとする。

【0038】(1) 対応点の選択：ターゲット面の位置/姿勢を検出するために3次元空間上で3点を検出する。そこで、左右画像のループ状に連なったエッジ上にある3つの対応点を選択する。通常はコーナーなどの特徴点を利用するが、多くの凸角を持つ面の場合、コーナー点の対応ミスがしばしば考えられる。そこで、に左画像のエッジに対応付けされたもの以外すべて余分なエッジは削除されているものとする。

【0039】エビボラ線は、図9から次のように算出する。

【0040】まず、ターゲットの点をPとし、そのワールド座標をX, Y, Zとし、左右のレンズの中心をそれぞれO_l, O_rとし、左画像面20a, 右画像面20bの姿勢の座標を、それぞれ(x_l, y_l, z_l), (x_r, y_r, z_r)とする。

【0041】次に、左右のレンズ中心O_l, O_rを結ぶ線をd、左右の画像20a, 20bのターゲットの点をP_l, P_r、ターゲットPと左レンズの中心O_lを結ぶ

(4)

特開平8-47881

6

直線P_lO_l、ターゲットPと右レンズの中心O_rを結ぶ直線P_rO_rとすると、これら点P, O_l, O_r, P_l, P_r及び線d, P_lO_l, P_rO_rは、同一のエビボラ面EPにある。

【0042】今、直線P_rO_rと右画像面(右画像を含む無限に近い広い面)20bが交差する点P_rにおけるエビボラ線をE_{p_l}とし、そのエビボラ線E_{p_l}と左画像のターゲットpとレンズ中心O_lとを結ぶ直線P_lO_lとの交点をx_eとする。また点P_rにおける座標を(t_r, k_r, n_l)とし、光軸方向の法線方向を(k_r)とエビボラ線E_{p_l}方向を(t_r)とする。

【0043】さて、右画像面20bの点P_rについて考察すると、エビボラ線E_{p_l}の方向ベクトルt_rは、光軸方向のベクトルk_rとエビボラ面EPの法線方向のベクトルn_lで求められる。

【0044】この法線ベクトルt_rとベクトルn_lとは、次の数1~4のようになる。

【0045】

【数1】

$$\vec{d} = \vec{O_l} - \vec{O_r}$$

【0046】

【数2】

$$\vec{v_l} = \vec{P_l} - \vec{O_l}$$

【0047】

【数3】

$$\vec{n_l} = -\frac{\vec{v_l} \times \vec{d}}{|\vec{v_l} \times \vec{d}|}$$

【0048】

【数4】

$$\vec{t_r} = \vec{n_l} \times \vec{k_r}$$

【0049】この法線ベクトルk_rとベクトルn_lによりエビボラ線E_{p_l}の方向ベクトルt_rが求められ、エビボラ線E_{p_l}を求めることができる。

【0050】なお、エビボラ線とエッジとの交点が2つある場合、選択した任意の点がループの左右どちらのエッジ上にあるかを考慮し、図8(b)に示すようにエビボラ線E_{p_l}に対して交点が左の場合は図8(a)で左を、右の場合は交点の右を選択する。

【0051】(2) 3次元空間上の位置検出：検出したそれぞれの3つの左右画像の対応点において、3次元空間上の3点の位置を算出する。

【0052】求める位置ベクトルPは、c₁, c₂を係数として数5~8のようにして計算できる。

【0053】

【数5】

$$\vec{v_l} = \vec{P_l} - \vec{O_l}$$

【0054】

【数6】

$$\vec{v_r} = \vec{P_r} - \vec{O_r}$$

【0055】

50

7

【数7】

$$\vec{d} = \vec{O_l} - \vec{O_r} = c_1 \cdot \vec{v_r} - c_2 \cdot \vec{v_l}$$

【0056】

【数8】

$$\vec{P} = \vec{O_r} + c_1 \cdot \vec{v_r} = \vec{O_l} + c_2 \cdot \vec{v_l}$$

【0057】 上述した数1～4よりエビボーラ線E p i が求まり、またdは既知であるため、c1, c2を求めることができ、位置ベクトルPを計算できる。

【0058】 次に検出するターゲットの位置ベクトルは、ロボットの手先付近に設置したツール座標系で指定する。このツール座標系とカメラの姿勢によっては数5～8が複雑になるためである。ここで用いるツール座標系は、そのZ軸がカメラの光軸と垂直にならない位置に設定する。

【0059】 ターゲット面の姿勢は、図10(a)に示すように、画像面20上の座標系をx, yとし、ターゲットのエッジEで選択した3点P1, P2, P3 (図では左エッジ上に2点P1, P2、右エッジ上に1点P3) があるとすると、左エッジの2点P1, P2に対応した3次元空間上の向きが(画像上の座標系でyの値が小さい点P1から大きい点P2へ)y軸方向を示し、右エッジ上の点P3側にy軸方向の平面座標に対して法線ベクトルの向きを、Z軸方向とすると、図10(b)に示すようにターゲット面Tの姿勢を求めることができる。

【0060】 またターゲット面上の原点は、左エッジ上の2点P1, P2のうち画像上の座標系でyの値が大きい点と右エッジの点P3によって作られた3次元空間の線分の中点oに置く。

【0061】 d. キャリブレーション
ロボットがターゲットを把持するためには、ステレオ画像計測をして得られたターゲットの位置/姿勢データを、ツール座標系から見たデータに変換してロボットに与える。

【0062】 ツール座標系とデフォルトの手先カメラ座標系の関係は図1.1の通りである。

【0063】 図1.1より手先座標系とツール座標系とは(xc, yc, zc)位置がずれている。

【0064】 従って、3次元空間におけるカメラのレンズ中心とツール座標系との位置/姿勢を表す6つのパラメータ(x, y, z, φ, θ, ψ)を決定する。

【0065】 e. 手先カメラ座標系の設定
ロボットのツール座標系から手先カメラ座標系へのデフォルトの変換(デフォルトのカメラ座標系)TCを数9のように設定する。

【0066】

【数9】

(5)

特開平8-47881

8

$$TC = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & xc \\ 0 & -1 & 0 & yc \\ 0 & 0 & -1 & zc \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

【0067】 以上より、マウスを操作し、画像でターゲットをマウスポインタでクリックするだけでターゲットの位置/姿勢が求めることが可能であり、ロボットで、そのターゲットの座標が簡単に認識できるため、これを容易にハンドリングすることができる。

10 【0068】 この遠隔操作は、ロボットに予め位置/姿勢を認識するプログラムとロボットを制御するプログラムが組み込まれたコンピュータを搭載し、画像情報のみオペレータ側のコンピュータに送信し、そこでターゲットの指定のみを行うことで、完全な自動遠隔操作が可能となり、作業環境に人が入れない状況下での操作に最適である。

【0069】

20 【発明の効果】 以上要するに本発明によれば、ロボットの手先に設けた左右のカメラでターゲットを撮影し、その画像の中のターゲットの任意の点と実際のターゲットの点とをエビボーラ線を用いて三角測量することでステレオ対応付けが行えるため、手先とターゲットとの位置・姿勢を求めることが可能となり、これを元にロボットを簡単に制御することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施例を示す概略図である。

【図2】 本発明の処理のフローを説明する図である。

【図3】 本発明において、クリックポイントからのループエッジの探索法を説明する図である。

30 【図4】 本発明において、ターゲットエッジからループエッジを認識するためエッジ追跡法を説明する図である。

【図5】 本発明において、クリップポイントとターゲットエッジの関係を説明する図である。

【図6】 本発明において、左右のエッジの対応付けを説明する図である。

【図7】 本発明において、左右のエッジの対応付けができなかった例を説明する図である。

40 【図8】 本発明において、エビボーラ線における左右の点の対応点の選択を説明する図である。

【図9】 本発明において、エビボーラ面におけるエビボーラ線を用いてターゲットの位置/姿勢を三角測量するための説明図である。

【図10】 本発明において、ターゲット面の姿勢を説明する図である。

【図11】 本発明において、デフォルトのカメラ座標系と位置計測の関係を示す図である。

【符号の説明】

1 ロボット

50 5 手先

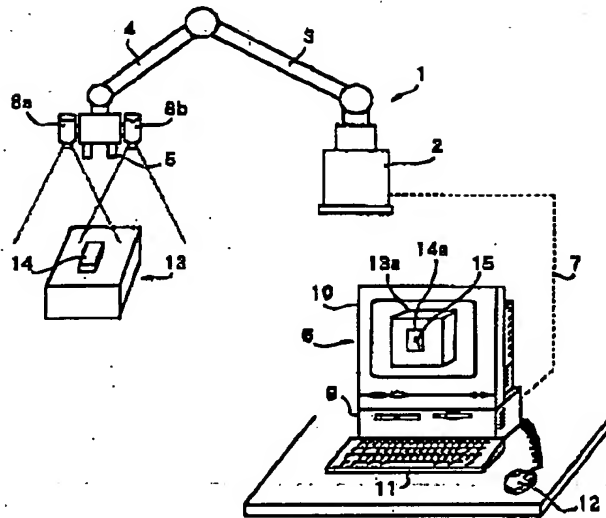
(6)

特開平8-47881

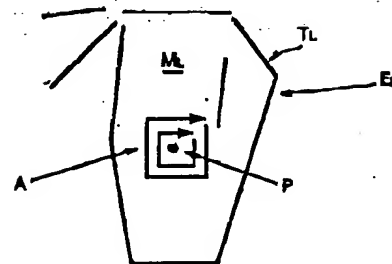
6 コンピュータ
8a、8b カメラ
14a ターゲット

E エッジ
Epi エピポーラ線

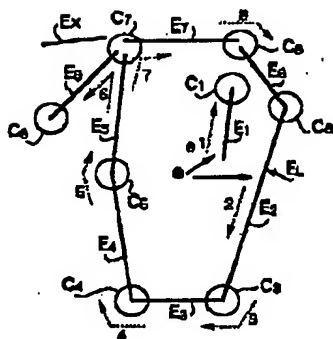
【図1】



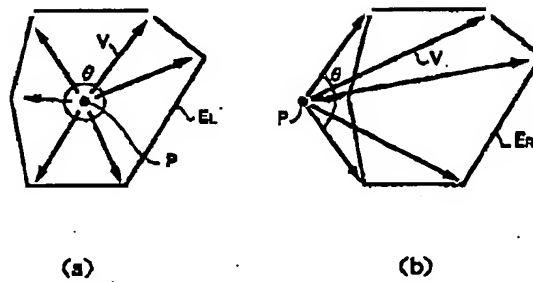
【図3】



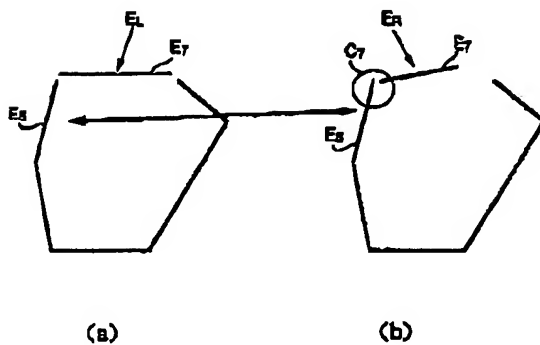
【図4】



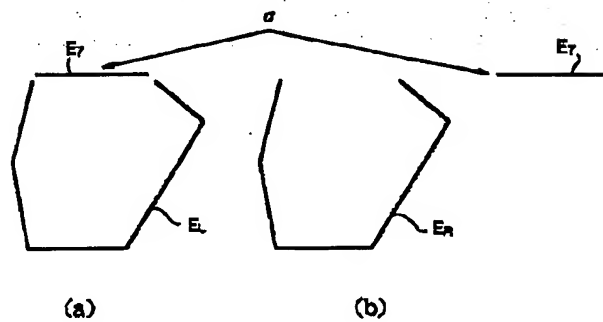
【図5】



【図6】



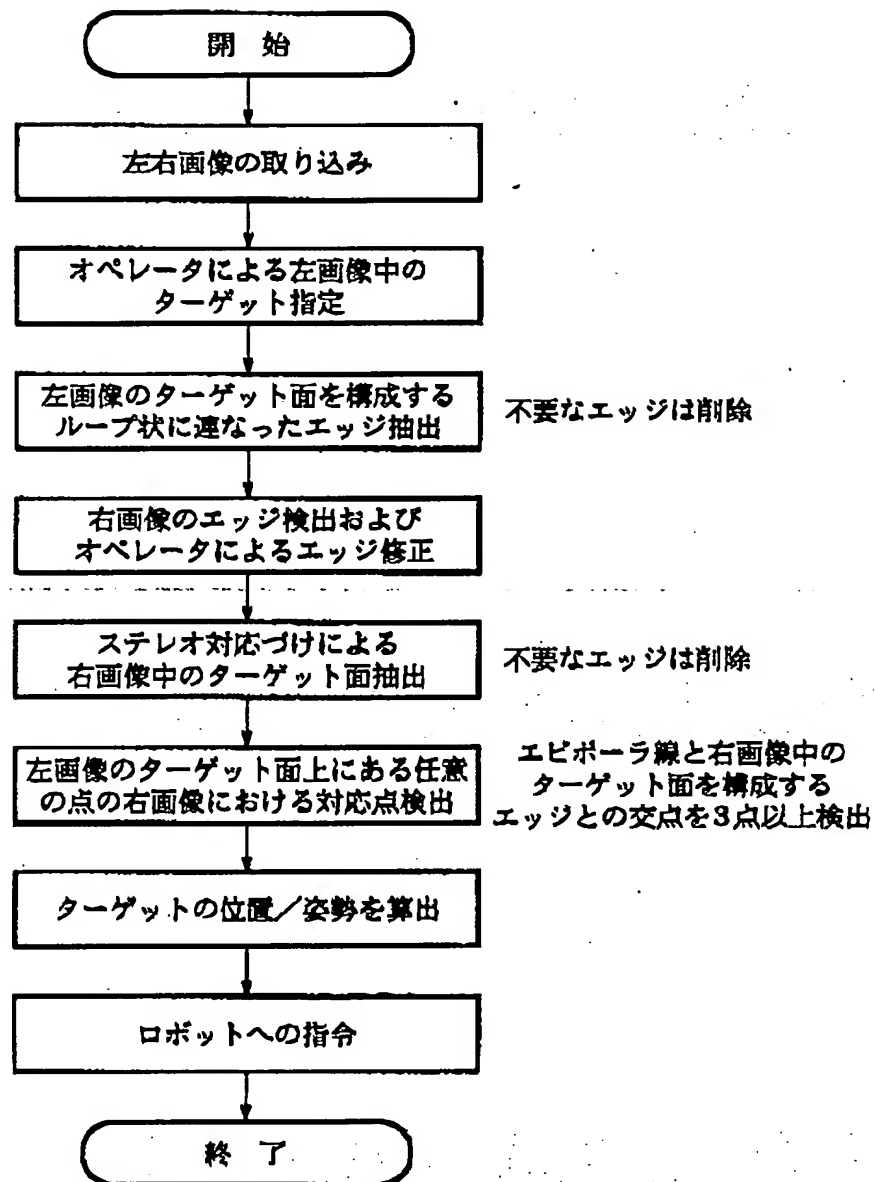
【図7】



(7)

特開平 8 - 4 7 8 8 1

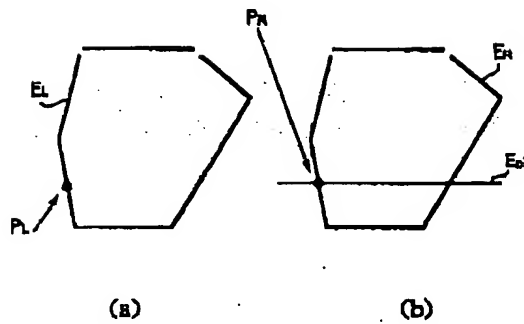
【図 2】



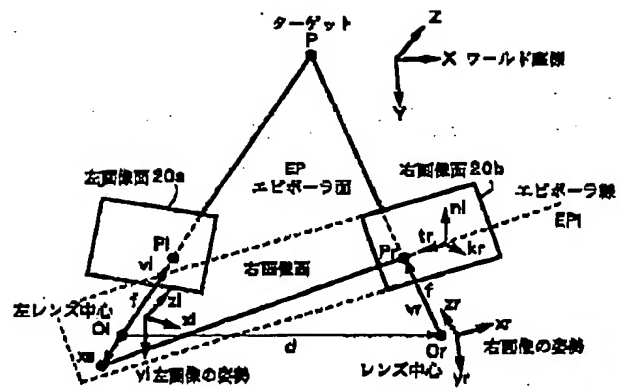
(8)

特開平 8-47881

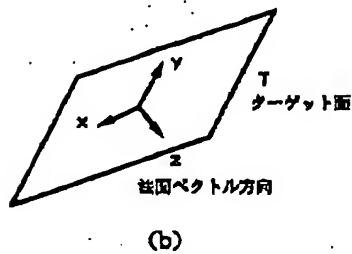
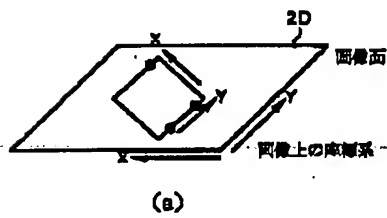
【図 8】



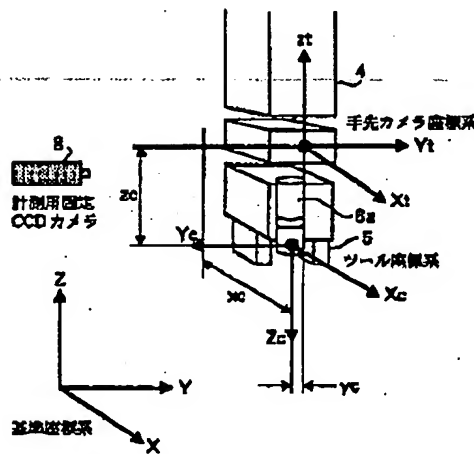
【図 9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

(72) 発明者 小出 誠二
東京都江東区豊洲三丁目1番15号 石川島
播磨重工業株式会社東二テクニカルセンタ
ー内